昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*，August 2005，48(4)：544－553　　ISSN 0454-6296

转基因抗虫水稻对水稻害虫群落的影响

刘雨芳[1,2]，苏　军[3]，尤民生[2]，汪　琼[1]，胡斯琴[1]，刘文海[1]，赵士熙[2]，王　锋[3*]

（1. 湖南科技大学生命科学学院，湖南湘潭　411201；2. 福建农林大学植保学院，福州　350002；
3. 福建农业科学院农业遗传工程重点实验室，福州　350003）

摘要：本文应用吸虫器法与剥查法，研究了转 *Cry1Ac* + *SCK* 基因水稻及其杂交后代对水稻害虫群落的影响。结果显示：转 *Cry1Ac* + *SCK* 基因水稻 MSA 与 MSB 对稻纵卷叶螟具有极强的抗性，转 *Cry1Ac* + *SCK* 基因稻的杂交后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 都获得了对稻纵卷叶螟的高抗性。虽然 MSA、MSB、21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 对水稻害虫的物种丰富度、个体数量、多样性与均匀度时间动态都有一定程度的影响，但生长全期的调查结果显示，与对应的对照比较，它们对水稻害虫群落的这些参数均无显著影响，且转基因水稻田与各自对照田在害虫与主要害虫物种组成上具有较高的相似性。靶标害虫种群数量的降低，并未对水稻害虫群落的组成与结构产生明显的影响，也没有引起优势种成分的变化。

关键词：转基因水稻；生物安全性；*Cry1Ac*；*SCK*；抗虫性；群落参数

中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2005)04-0544-10

Effect of transgenic pest-resistant rice on pest insect communities in paddy fields

LIU Yu-Fang[1,2], SU Jun[3], YOU Min-Sheng[2], WANG Qiong[1], HU Si-Qin[1], LIU Wen-Hai[1], ZHAO Shi-Xi[2], WANG Feng[3*] (1. School of Life Sciences, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Key Laboratory of Agricultural Genetics Engineering, Fujian Agricultural Academy of Sciences, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Effect of MSA and MSB, transgenic rice with fused genes of *Cry1Ac* and *SCK*, and 21S/MSB and II-32A/MSB, progenies from crosses between *Cry1Ac*/*SCK*-transgenic rice and conventional rice varieties on the pest insect community in paddy field was tested by the suction machine sampling method combined with the field denudation method. The results indicated that both MSA and MSB were highly resistant against the rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis*. The rice lines 21S/MSB and Ⅱ-32A/MSB also obtained the trait of high resistance to *C. medinalis*. Although MSA, MSB, 21S/MSB and II-32A/MSB showed some effect on the temporal dynamics of species richness, number of individuals, diversity, evenness and dominant concentration indices, the results from analysis of the whole period of rice-growing revealed that the four rice varieties had no remarkable effect on the species richness, total number of individuals, diversity, evenness and dominant concentration indices of communities of pest insects in paddy fields compared with their respective control. Comparison of the results of different rice revealed high compositional similarities in the total and key pest insect species. The removal or depressing of population of target pest insect *C. medinalis* had negligible effect on the dominant species, composition, and structure of pest insect communities in paddy fields planted with Cry1Ac/SCK-transgenic rice.

Key words: Transgenic rice; biosafety; *Cry1Ac*; *SCK*; resistance to insects; community parameter

通过重组 DNA 等基因工程技术将抗虫、抗病等外源基因引入到水稻中，培育抗虫、抗病水稻新品系，将成为水稻病虫害管理的新方法与新途径（Gatehouse *et al*., 2000），也将为提高水稻产量和品质、解决日益增长的人口和粮食紧缺之间的矛盾以及农业可持续发展开辟一条崭新的途径（杨庆文，

基金项目：国家自然科学基金项目(30270879)；国家'863'项目(2002AA22031)；湖南省杰出青年科学基金项目(04JJ1003)；福建省科技攻关计划项目(2003N002)；福建省科技重大专项(2004NZ01-2)

作者简介：刘雨芳，女，1964 年生，湖南湘乡人，博士，教授，主要从事昆虫群落生态学与转基因水稻生态安全评价研究，E-mail：liuyf@hnust.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail：wf@fjage.org

收稿日期 Received：2004-10-27；接受日期 Accepted：2005-01-19

2003)。转基因水稻释放到环境中，是否会对农田生态系统造成不良影响，包括对非靶标生物的直接毒害和对无脊椎动物群落更复杂的影响(Schoenly *et al*.，2003)，是否会引发其他生态问题，对于这些疑问尚未有明确答案。因此转基因水稻安全性评价已成为人们关注的焦点(Shelton *et al*.，2002；杨庆文，2003；Wu *et al*.，2004)。目前，转基因水稻对生态环境影响的研究主要集中在转 Bt 基因水稻对靶标害虫抗性评价(叶恭银和胡萃，2000；卫剑文等，2000；王忠华等，2000；Ye *et al*.，2001；Meng *et al*.，2003)和对非靶标生物种群的影响(Bernal *et al*.，2002；傅强等，2003)以及昆虫抗性对策(Cohen *et al*.，2000；Dirie *et al*.，2000)，而揭示转 *Cry1Ac* 与 *SCK* 双价基因水稻在群落水平上对水稻害虫影响的信息与报道很少。

MSA 与 MSB 是中国科学院遗传与发育研究所和福建省农科院农业遗传工程重点实验室合作，以“明恢 86”(MH86)为受体水稻，用农杆菌介导法导入 *Cry1Ac* 与 *SCK* 双价基因获得的稳定遗传的 T6 代转基因抗虫水稻株系。21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 是以转 *Cry1Ac* + *SCK* 双价基因抗虫水稻恢复系 MSB 为亲本育成的转基因抗虫杂交稻。其中 *SCK*(Signal-CPTI-KDEL)是经修饰的 *cpti* 基因，两端分别融合了源于大豆 kunitz 型胰蛋白酶抑制剂(soybean kunitz trypsin inhibitor，SKTI)的信号(Signal)肽序列及内质网滞留信号(KDEL)序列(朱祯，2001)。作者于 2002 年至 2003 年分别以转基因水稻恢复系 MSA 与 MSB，以及转基因恢复系组配的杂交稻 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 为材料，通过一定面积的田间试验，研究了以上 4 种转基因抗虫水稻对水稻害虫群落的影响，结果如下。

1　材料与方法

1.1　供试水稻材料、田间试验设计与管理

转基因抗虫水稻 MSA、MSB 及其非转基因对照亲本杂交稻恢复系“明恢 86”(记为 MH86)，转基因杂交稻 21S/MSB 与其非转基因对照杂交稻两优 2186(记为 LY2186)，转基因杂交稻 Ⅱ-32A/MSB 与其非转基因对照杂交稻 Ⅱ-优明 86(记为 Ⅱ-YM86)，均由福建省农业科学院农业遗传工程重点实验室提供。

2002 年晚稻期在福建省沙县良种场水稻种植区，以 MSA 为试验材料、MH86 为对照(试验 1)，MSB 为试验材料、MH86 为对照(试验 2)；2003 年晚稻期在湖南省湘潭县响水乡水稻种植区，以 21S/MSB 为试验材料、LY2186 为对照(试验 3)，以 Ⅱ-32A/MSB 为试验材料、Ⅱ-YM86 为对照(试验 4)，选择合适的稻田作为试验田设计试验。

在水稻整个生长期，试验田不施用任何化学杀虫剂与除草剂，各品系试验面积约 1 330 m^2，设 2 次重复，随机区组排列。品系间间距约 8 m，且每个品系稻田周围种植对照水稻 12 株(行)，其宽度约为 2 m，构成保护隔离带。各品系农事操作一致，水肥管理如常。

1.2　水稻种植方法与生育期

湿润育秧、畦播，人工单本移栽，株距为 16 ~ 17 cm(列距) × 20 cm(行距)，人工中耕除草。2002 年在福建沙县的试验于 6 月 20 日播种，7 月 14 日移栽，秧龄 25 天，9 月 13 日始穗，9 月 18 日齐穗，10 月 25 日收割。2003 年在湖南湘潭的试验于 6 月 12 日播种，7 月 12 日移栽，秧龄 30 天，9 月 5 日始穗，9 月 12 日齐穗，10 月 25 日收割。

1.3　调查与数据处理方法

对靶标害虫(稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 及其他钻蛀性鳞翅目害虫)与其他非鳞翅目钻蛀性害虫用剥查法调查。水稻出现白叶时，采用平行线跳跃法随机取样 20 丛或 50 丛水稻，整丛剥查水稻上稻纵卷叶螟形成的卷叶苞数、幼虫数和蛹数。计算卷叶率、卷叶株率、带虫(蛹)株率。计算公式：卷叶率 = (卷叶苞数 ÷ 总叶数) × 100%；卷叶株率 = (有卷叶苞株数 ÷ 剥查株数) × 100%；带虫株率 = (带虫株数 ÷ 剥查株数) × 100%。同时剥查枯心苗及其他食叶鳞翅目昆虫并计数。

2002 年福建沙县的调查从水稻移栽后第 43 天开始，每周剥查 1 次，最后 1 次间隔 1 周，共剥查 5 次。除第 1 次剥查 20 丛水稻外，其余各次均剥查水稻 50 丛。2003 年湖南湘潭的调查从水稻移栽后第 18 天开始，每周剥查 1 次，第 1 代调查 4 次。2 周后调查第 2 代，间隔同前，剥查 2 次，全期共调查 6 次。各次均剥查水稻 50 丛。

对非靶标害虫(除鳞翅目以外的水稻害虫)及食叶鳞翅目昆虫的幼虫用吸虫器法(刘雨芳等，1999)，对角线五点样方采样，每样吸 20 丛水稻，每次调查 100 丛。两试验地的田间调查均从移栽后 14 天开始，每 2 周调查 1 次，共 6 次。样品用 80% 的酒精浸泡后，带回室内清理、计数、分类与统计分析。稻瘿蚊 *Pachydiplosis oryzae* 数量以采样时所得葱管数为

计算依据，混合发生的白背飞虱 *Sogatella furcifera* 与褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的若虫密度大，特别是低龄若虫难以区分，其若虫单独计数，但不计入物种丰富度，不参与优势度排序。叶蝉与蝽科的低龄若虫处理同此。

本研究采用群落中物种个体数量（N）、物种丰富度（S）、Shannon-Wiener 的物种多样性指数（H'）、均匀度指数（J'）、优势度指数（D）和 Simpson 的优势集中性指数（C）、Czekanowski 的群落相似系数（C_S）（丁岩钦，1994）分析群落结构特征。

所有数据计算均在 Excel 2000 与 SPSS 统计分析软件上完成，并检验处理间的差异显著性。

2 结果

2.1 转基因水稻对关键靶标害虫稻纵卷叶螟的田间抗性分析

2.1.1 MSA 与 MSB 对稻纵卷叶螟的田间抗性分析：2002 年沙县的试验结果显示，除了在水稻移栽后第 50 天和 57 天，MSA 与 MSB 稻上稻纵卷叶螟数量略低于其对照水稻（$P > 0.05$）外，其余各次调查结果均显示，MSA 与 MSB 稻上稻纵卷叶螟数量均显著低于（$P < 0.05$）或极显著低于（$P < 0.01$）其对照水稻 MH86。MSA 与 MSB 稻的卷叶株率与带虫株率也是明显低于对照 MH86（表 1）。

2.1.2 21S/MSB 与 II-32A/MSB 对稻纵卷叶螟的田间抗性：2003 年在湘潭的调查显示，除在水稻移栽后第 32 天与第 39 天，因稻纵卷叶螟在晚稻上第 1 代已进入成虫期，只在对照水稻上剥查到少量的蛹，纵卷叶螟的数量（幼虫与蛹）除 21S/MSB 略低于对照水稻（$P > 0.05$）外，其余各次剥查显示纵卷叶螟的数量（幼虫与蛹）均为转基因抗虫杂交稻 21S/MSB 显著低于（$P < 0.05$）或极显著低于（$P < 0.01$）对照 LY2186 稻纵卷叶螟形成的卷叶苞与转叶率均为转基因抗虫杂交稻 21S/MSB 极显著低于对照 LY2186（$P < 0.01$）；卷叶株率亦均为转基因抗虫杂交稻 21S/MSB 极显著低于对照，且只在晚稻生长发育的中后期（第 2 代稻纵卷叶螟发生盛期），在 21S/MSB 上剥查到极少量的纵卷叶螟幼虫（蛹），在纵卷叶螟发生盛期，转基因抗虫杂交稻 21S/MSB 的带虫株率为零，极显著低于对照水稻（表 2，试验 3）。

表 1 转基因稻 MSA 与 MSB 对稻纵卷叶螟的田间抗性（福建沙县，2002）

Table 1 Resistance of transgenic rice MSA and MSB to the rice leaf folder *Cnaphalocrocis medinalis* in paddy fields (Shaxian, Fujian, 2002)

移栽后天数 Days after transplantation (d)	稻株数 Number of rice plants	参数 Parameters	试验 1 Test 1		试验 2 Test 2	
			MSA	MH86 (CK)	MSB	MH86 (CK)
43	20	数量（头/株）Number of insects/plant	0 a	0.7 ± 0.3 b	0 a	0.7 ± 0.3 b
		卷叶率（%）Rate of rolled leaves	0 a	1.1 ± 0.1 b	0 a	1.1 ± 0.1 b
		卷叶株率（%）Rate of leaf-rolled plants	0	30	0	30
		带虫株率（%）Rate of PCM	0	30	0	30
50	50	数量（头/株）Number of insects/plant	0 a	0.2 ± 0.0 a	0 a	0.2 ± 0.0 a
		卷叶率（%）Rate of rolled leaves	0 A	2.5 ± 0.5 B	0 A	2.5 ± 0.5 B
		卷叶株率（%）Rate of leaf-rolled plants	0	56	0	56
		带虫株率（%）Rate of PCM	0	16	0	16
57	50	数量（头/株）Number of insects/plant	0 a	0.4 ± 0.1 a	0 a	0.4 ± 0.1 a
		卷叶率（%）Rate of rolled leaves	0.3 ± 0.1 a	1.2 ± 0.3 b	0.1 ± 0.1 a	1.2 ± 0.3 b
		卷叶株率（%）Rate of leaf-rolled plants	12	38	2	38
		带虫株率（%）Rate of PCM	4	30	0	30
64	50	数量（头/株）Number of insects/plant	0.1 ± 0.1 a	1.0 ± 0.1 b	0.1 ± 0.1 a	1.0 ± 0.1 b
		卷叶率（%）Rate of rolled leaves	0.3 ± 0.1 A	2.4 ± 0.3 B	0.5 ± 0.2 A	2.4 ± 0.3 B
		卷叶株率（%）Rate of leaf-rolled plants	14	87	20	87
		带虫株率（%）Rate of PCM	8	60	14	60
78	50	数量（头/株）Number of insects/ plant	0.1 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 b	0.1 ± 0.0 a	0.7 ± 0.1 b
		卷叶率（%）Rate of rolled leaves	0.5 ± 0.2 A	4.1 ± 0.5 B	0.6 ± 0.2 A	4.1 ± 0.5 B
		卷叶株率（%）Rate of leaf-rolled plants	22	84	18	84
		带虫株率（%）Rate of PCM	8	56	8	56

1. 数据为平均值 ± 标准差，数据后有不同小写字母表示差异显著（$P < 0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P < 0.01$），后同。The data (mean ± *SE*) in the table followed by different small and capital letters indicate significant difference at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively. The same for the following tables.
2. PCM：Plants with *C. medinalis*. 表 2 同此。The same for Table 2.

除在水稻移栽后第 32 天与第 39 天，只在对照水稻上剥查到少量的蛹，纵卷叶螟的数量（蛹）：Ⅱ-32AS/MSB 上为零，略低于对照水稻（$P > 0.05$）外，其余各次剥查显示纵卷叶螟的数量（幼虫与蛹）均为转基因抗虫杂交稻 21S/MSB 显著低于（$P < 0.05$）或极显著低于（$P < 0.01$）对照Ⅱ-YM86，且整个生长期，在Ⅱ-32AS/MSB 上未剥查到稻纵卷叶螟幼虫或蛹，其带虫株率为零。各次调查的卷叶率均为转基因抗虫杂交稻Ⅱ-32A/MSB 极显著地低于其对照稻（$P < 0.01$）；卷叶株率为转基因抗虫杂交稻Ⅱ-32A/MSB 明显地低于对照Ⅱ-YM86；且只在晚稻生长发育的中期（第 1 代纵卷叶螟成虫期与第 2 代稻纵卷叶螟发生始期），在Ⅱ-32A/MSB 上形成极少量的卷叶苞（表 2，试验 4）。

表 2　转基因抗虫杂交稻 21S/MSB 与Ⅱ-32A/MSB 对稻纵卷叶螟田间抗性（湖南湘潭，2003）

Table 2　Resistance of transgenic hybrid rice 21S/MSB and Ⅱ-32A/MSB to the rice leaf folder, *C. medinalis* in paddy fields (Xiangtan, Hunan, 2003)

移栽后天数 Days after transplantation (d)	稻株数 Number of rice plants	参数 Parameters	试验 3 Test 3		试验 4 Test 4	
			21S/MSB	LY2186 (CK)	Ⅱ-32A/MSB	Ⅱ-YM86 (CK)
18	50	**数量（头/株）** Number of insects/ plant	0 A	2.0 ± 0.3 B	0 A	2.6 ± 0.5 B
		卷叶率（%） Rate of rolled leaves	0.1 ± 0.1 A	5.9 ± 0.7 B	0.3 ± 0.1 A	5.8 ± 0.6 B
		卷叶株率（%） Rate of leaf-rolled plants	4	86	14	94
		带虫株率（%） Rate of PCM	0	78	0	84
25	50	**数量（头/株）** Number of insects/plant	0 A	0.9 ± 0.2 B	0 A	0.7 ± 0.2 B
		卷叶率（%） Rate of rolled leaves	0 A	6.9 ± 0.7 B	0 A	7.5 ± 0.5 B
		卷叶株率（%） Rate of leaf-rolled plants	0	94	0	100
		带虫株率（%） Rate of PCM	0	54	0	44
32	50	**数量（头/株）** Number of insects/plant	0 a	0.1 ± 0.0 a	0 a	0.1 ± 0.0 a
		卷叶率（%） Rate of rolled leaves	0.2 ± 0.1 A	5.2 ± 0.5 B	0.1 ± 0.1 A	4.8 ± 0.4 B
		卷叶株率（%） Rate of leaf-rolled plants	8	90	10	94
		带虫株率（%） Rate of PCM	0	2	0	4
39	50	**数量（头/株）** Number of insects/plant	0 a	0.1 ± 0.0 a	0 a	0.5 ± 0.2 b
		卷叶率（%） Rate of rolled leaves	0 A	4.1 ± 0.5 B	0.2 ± 0.1 A	4.6 ± 0.5 B
		卷叶株率（%） Rate of leaf-rolled plants	2	84	12	94
		带虫株率（%） Rate of PCM	0	6	0	14
56	50	**数量（头/株）** Number of insects/plant	0 A	2.2 ± 0.4 B	0 A	2.3 ± 0.3 B
		卷叶率（%） Rate of rolled leaves	0.1 ± 0.1 A	8.3 ± 1.1 B	0 A	13.6 ± 1.0 B
		卷叶株率（%） Rate of leaf-rolled plants	2	94	2	100
		带虫株率（%） Rate of PCM	2	70	0	82
63	50	**数量（头/株）** Number of insects/plant	0 A	0.5 ± 0.1 B	0 A	0.7 ± 0.1 B
		卷叶率（%） Rate of rolled leaves	0.1 ± 0.1 A	9.2 ± 0.9 B	0 A	11.7 ± 0.6 B
		卷叶株率（%） Rate of leaf-rolled plants	2	100	0	100
		带虫株率（%） Rate of PCM	2	40	0	60

以上大田试验结果充分表明，转基因抗虫水稻恢复系 MSA 与 MSB 及转基因抗虫水稻的杂交后代 21S/MSB 与Ⅱ-32A/MSB 在稻田生态系统中能显著降低主要靶标害虫——稻纵卷叶螟的种群数量，对其表现很强的抗性，抗虫效果显著。

2.2　转基因水稻田害虫群落结构特征

2.2.1　整个生长期害虫群落结构：对 2002 年生长全期调查数据的分析显示，MSA 与 MH86 稻田的害虫群落结构特征为每 100 丛水稻的物种丰富度为：MSA > MH86；害虫数量为：MH86 > MSA；多样性指数与均匀度指数均为：MH86 > MSA；优势集中性指数为：MSA > MH86。但经 t 检测，在水稻生长全期，MSA 与 MH86 之间的物种丰富度、个体总数量、多样性指数、均匀度指数与优势集中性指数均无显著差异（$P > 0.05$）（表 3，试验 1）。MSB 与 MH86 稻田的害虫群落结构特征为，每 100 丛水稻的物种丰富度为：MH86 > MSB；害虫数量为：MSB > MH86；多样性指数与均匀度指数均为：MH86 > MSB；优势集中性指数为：MSB > MH86。但经 t 检测，在水稻生长全期，MSB 与 MH86 之间的物种丰富度、个体总数量、多样性指数、均匀度指数与优势集中性指数均无显著差异（$P > 0.05$）（表 3，试验 2）

对 2003 年生长全期调查数据的分析显示，21S/MSB 与 LY2186 稻害虫群落结构特征为，每 100 丛水稻物种丰富度、个体数量及多样性指数均是 21S/MSB > LY2186；均匀度指数为 21S/MSB = LY2186；

而优势集中性指数为 21S/MSB < LY2186，但均无显著差异（$P > 0.05$）（表 3，试验 3）。Ⅱ-32A/MSB 与Ⅱ-YM86 稻田水稻害虫群落结构特征为，每 100 丛水稻物种丰富度、个体数量及优势集中性指数均是Ⅱ-32A/MSB > Ⅱ-YM86；多样性指数、均匀度指数为Ⅱ-32A/MSB < Ⅱ-YM86，但均无显著差异（$P > 0.05$）（表 3，试验 4）。

表 3 转基因水稻田害虫群落参数（100 丛稻）

Table 3 Parameters of pest insect communities in paddy fields of the transgenic rice (100 clumps of rice plant)

试验编号 Test no.	水稻品系 Rice line	物种丰富度 *S*	个体数量 *N*	多样性 *H′*	均匀性 *J′*	优势集中性 *C*
试验 1（沙县，2002）	MSA	9.0 ± 1.0 a	327.2 ± 82.9 a	1.5 ± 0.2 a	0.7 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a
Test 1 (Shaxian, 2002)	MH86	8.3 ± 1.0 a	337.7 ± 81.5 a	1.6 ± 0.2 a	0.7 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a
试验 2（沙县，2002）	MSB	8.0 ± 0.4 a	354.5 ± 90.5 a	1.5 ± 0.2 a	0.7 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a
Test 2 (Shaxian, 2002)	MH86	8.3 ± 1.0 a	337.7 ± 81.5 a	1.6 ± 0.2 a	0.7 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a
试验 3（湘潭，2003）	21S/MSB	7.8 ± 0.9 a	278.3 ± 125.7 a	1.4 ± 0.2 a	0.7 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a
Test 3 (Xiangtan, 2003)	LY2186	5.7 ± 0.8 a	208.2 ± 67.0 a	1.2 ± 0.1 a	0.7 ± 0.0 a	0.4 ± 0.1 a
试验 4（湘潭，2003）	Ⅱ-32A/MSB	7.3 ± 0.9 a	332.2 ± 176.8 a	1.2 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a
Test 4 (Xiangtan, 2003)	Ⅱ-YM86	6.5 ± 0.6 a	329.5 ± 205.9 a	1.4 ± 0.1 a	0.7 ± 0.0 a	0.3 ± 0.0 a

2.2.2 害虫群落结构时间动态

2.2.2.1 物种丰富度：2002 年福建沙县的调查，水稻移栽后第 28、42、56 天，MSA 稻田中害虫的物种丰富度低于 MH86，且在第 28、42 天差异显著（$P < 0.05$），在移栽后第 70、84 天，MSA 稻田中害虫物种丰富度高于 MH86 稻田，但差异不显著（$P > 0.05$）（表 4，试验 1）。水稻移栽后第 14、28、42、56、70 天，MSB 稻田中害虫物种丰富度低于 MH86，其中第 56 天差异显著（$P < 0.05$）；第 84 天的调查显示，MSB 稻田中害虫物种数显著高于 MH86 稻田（$P < 0.05$）（表 4，试验 2）。2003 年湖南湘潭的调查，水稻移栽后第 14、28、42 与 84 天，21S/MSB 稻田中害虫物种丰富度高于 LY2186 稻田，且在第 28 天显著高于 LY2186（$P < 0.05$），而在水稻移栽后第 56、70 天，21S/MSB 稻田中害虫物种丰富度略低于 LY2186 稻田，但无显著差异（$P > 0.05$）（表 4，试验 3）。水稻移栽后第 14、28、42 与 70 天，Ⅱ-32A/MSB 稻田中害虫物种丰富度略低于Ⅱ-YM86 稻田；水稻移栽后第 56、80 天，Ⅱ-32A/MSB 稻田中害虫物种丰富度显著高于Ⅱ-YM86 稻田（$P < 0.05$）（表 4，试验 4）。

表 4 转基因水稻田害虫群落物种丰富度时间动态（20 丛稻）

Table 4 Temporal dynamics of species richness of pest insects in paddy fields of transgenic rice (20 clumps of rice plant)

试验编号 Test no.	水稻品系 Rice line	移栽后天数 Days after transplantation (d)					
		14	28	42	56	70	84
试验 1（沙县，2002）	MSA	7.2 ± 0.4 a	5.4 ± 0.2 a	6.4 ± 0.2 a	7.8 ± 0.4 b	7.4 ± 0.5 a	6.8 ± 0.4 a
Test 1 (Shaxian, 2002)	MH86	7.2 ± 0.5 a	6.2 ± 0.2 b	8.4 ± 0.6 b	8.2 ± 0.6 b	7.0 ± 0.3 a	6.2 ± 0.2 a
试验 2（沙县，2002）	MSB	6.6 ± 0.2 a	5.8 ± 0.2 a	7.2 ± 0.4 a	5.8 ± 0.4 a	5.8 ± 0.4 a	8.2 ± 0.4 b
Test 2 (Shaxian, 2002)	MH86	7.2 ± 0.5 a	6.2 ± 0.2 a	8.4 ± 0.6 a	8.2 ± 0.6 b	7.0 ± 0.3 a	6.2 ± 0.2 a
试验 3（湘潭，2003）	21S/MSB	4.4 ± 0.7 a	4.4 ± 0.7 b	5.2 ± 0.9 a	5.0 ± 0.3 a	3.6 ± 0.2 a	3.6 ± 0.5 a
Test 3 (Xiangtan, 2003)	LY2186	3.2 ± 0.4 a	1.0 ± 0.3 a	5.0 ± 0.6 a	5.2 ± 0.7 a	3.8 ± 0.2 a	2.6 ± 0.2 a
试验 4（湘潭，2003）	Ⅱ-32A/MSB	3.2 ± 0.2 a	2.6 ± 0.4 a	3.6 ± 0.2 a	5.8 ± 0.7 b	5.2 ± 0.4 a	5.0 ± 0.3 b
Test 4 (Xiangtan, 2003)	Ⅱ-YM86	3.8 ± 0.7 a	2.8 ± 1.0 a	4.8 ± 0.6 a	2.2 ± 0.7 a	5.4 ± 0.4 a	1.1 ± 0.5 a

2.2.2.2 个体数量：2002 年福建沙县的调查，水稻移栽后第 14、84 天，MSA 稻田中害虫的数量略高于 MH86 稻田，水稻移栽后第 28、42、56 和 70 天，MSA 稻田中害虫的数量略低于 MH86 稻田，但均无显著差异（$P > 0.05$）（表 5，试验 1）。水稻移栽后第 14、28 与 56 天，MSB 稻田中的害虫数量低于 MH86 稻田，且第 28 天差异显著（$P < 0.05$）；移栽后第 42、70 与 84 天；MSB 稻田中的害虫数量高于 CK 稻田，且第 84 天差异显著（$P < 0.05$）（表 5，试验 2）。

2003 年湖南湘潭的调查，在水稻移栽后第 14、28、42 及第 84 天，21S/MSB 稻田中害虫数量低于 LY2186 稻田，且在水稻移栽后第 14 天，21S/MSB 稻田中害虫数量显著低于 LY2186 稻田（$P < 0.05$）。在水稻移栽后第 56 天，21S/MSB 稻田中害虫数量显著高于 LY2186 稻田（$P < 0.05$）（表 5，试验 3）。在水稻移栽后第 14、28、42 与第 56 天，Ⅱ-32A/MSB 稻田中害虫数量低于Ⅱ-YM86 稻田，尤其在移栽后第 14、28 天，差异显著（$P < 0.05$）。在水稻移栽后第 70、84 天，Ⅱ-32A/MSB 稻田中害虫数量显著高于Ⅱ-YM86 稻田（$P < 0.05$）（表 5，试验 4）。

表 5　转基因水稻田害虫群落个体数量时间动态(20 丛稻)

Table 5　Temporal dynamics of number of pest insects in paddy fields of transgenic rice (20 clumps of rice plant)

试验编号 Test no.	水稻品系 Rice line	移栽后天数 Days after transplantation (d)					
		14	28	42	56	70	84
试验 1(沙县,2002)	MSA	126.4 ± 2.6 a	61.8 ± 6.0 a	18.2 ± 2.2 a	44.6 ± 3.1 a	100.8 ± 8.0 a	40.8 ± 2.7 a
Test 1 (Shaxian, 2002)	MH86	116.2 ± 9.0 a	67.8 ± 6.1 b	19.2 ± 3.0 a	49.8 ± 6.5 a	114.0 ± 19.5 a	36.2 ± 2.3 a
试验 2(沙县,2002)	MSB	111.8 ± 7.4 a	55.8 ± 3.1 a	23.2 ± 2.0 a	38.6 ± 5.7 a	137.6 ± 8.4 a	58.4 ± 4.5 b
Test 2 (Shaxian, 2002)	MH86	116.2 ± 9.0 a	67.8 ± 6.1 b	19.2 ± 3.0 a	49.8 ± 6.5 a	114.0 ± 19.5 a	36.2 ± 2.3 a
试验 3(湘潭,2003)	21S/MSB	17.8 ± 5.6 a	11.8 ± 3.6 a	16.8 ± 2.0 a	167.4 ± 27.9 b	88.0 ± 18.5 a	32.2 ± 6.9 a
Test 3 (Xiangtan, 2003)	LY2186	161.2 ± 4.2 b	12.6 ± 0.5 a	24.8 ± 4.8 a	82.0 ± 15.1 a	75.8 ± 18.0 a	36.8 ± 16.4 a
试验 4(湘潭,2003)	Ⅱ-32A/MSB	13.2 ± 3.6 a	5.0 ± 1.0 b	31.6 ± 4.1 a	235.0 ± 58.0 a	67.2 ± 17.6 b	43.6 ± 11.8 b
Test 4 (Xiangtan, 2003)	Ⅱ-YM86	47.4 ± 11.4 b	9.8 ± 3.6 b	35.6 ± 7.2 a	269.6 ± 91.2 a	9.0 ± 6.3 a	24.0 ± 6.7 a

2.2.2.3　多样性、均匀度及优势集中性的时间动态：2002 年在福建沙县的调查，水稻生长前期至中期初(移栽后 14～42 天)，试验 1 三个品系稻田中害虫的多样性指数(图 1：A)、均匀度指数(图 1：B)明显升高，而优势集中性指数(图 1：C)明显降低，且 MSA 田与 MH86 田中的变化趋势基本一致。在水稻生长中期末(移栽后第 56 天)，MSB 稻田中害虫多样性指数显著降低，尔后，MSB 稻田中多样性指数呈明显上升的趋势。在第 70 天的调查中，MSB 田中的害虫均匀度指数明显降低而优势集中性指数明显升高。

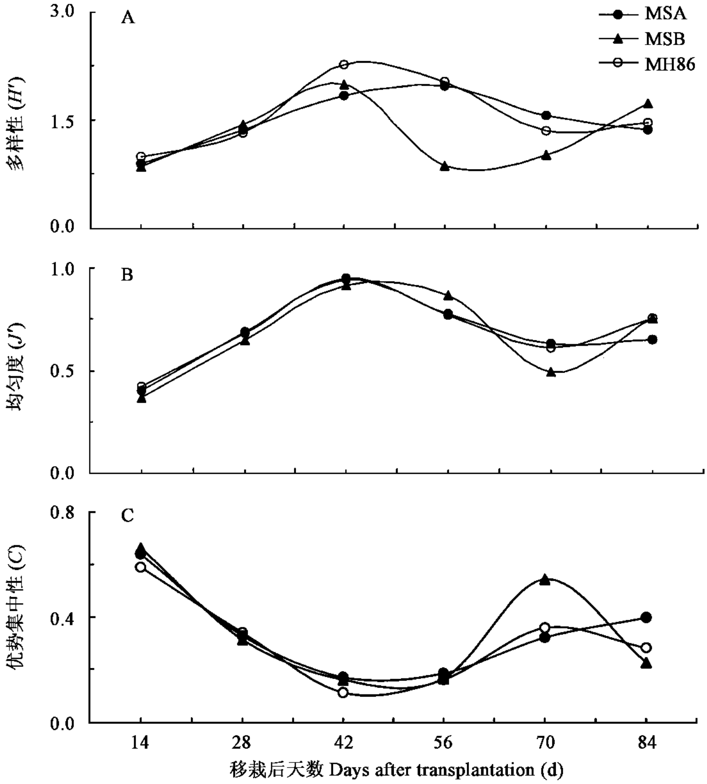

图 1　转基因水稻 MSA 与 MSB 稻田害虫多样性(A)、均匀度(B)与优势集中性(C)的时间动态(沙县,2002)

Fig. 1　Temporal dynamics of diversity (A), evenness (B) and dominant concentration (C) of pest insects in paddy fields of transgenic rice MSA and MSB (Shaxian, Fujian, 2002)

2003 年在湖南湘潭的调查，在水稻移栽后第 14 天至 28 天，21S/MSB 稻田害虫多样性指数(图 2：A)与均匀度指数(图 2：B)明显高于 LY2186，而优势集中性指数(图 2：C)则为 21S/MSB 明显低于 LY2186。在水稻生长的中期后阶段(移栽后第 56 天)，21S/MSB 稻田害虫多样性指数与均匀度指数明显低于 LY2186，而优势集中性指数则为 21S/MSB 明显高于 LY2186，其他各次的调查无明显差异。在水稻移栽后第 28、42 天，Ⅱ-32A/MSB 稻田中害虫群落的多样性指数(图 3：A)明显低于Ⅱ-YM86，而此期优势集中性指数(图 3：C)则为Ⅱ-32A/MSB 明显高于Ⅱ-YM86；在水稻生长的中期(移栽后第 42、56 天)的均匀度指数(图 3：B)为Ⅱ-32A/MSB 明显低于Ⅱ-YM86，其余各次的数据分析显示，三个指数值在Ⅱ-32A/MSB 与Ⅱ-YM86 之间无明显差异。

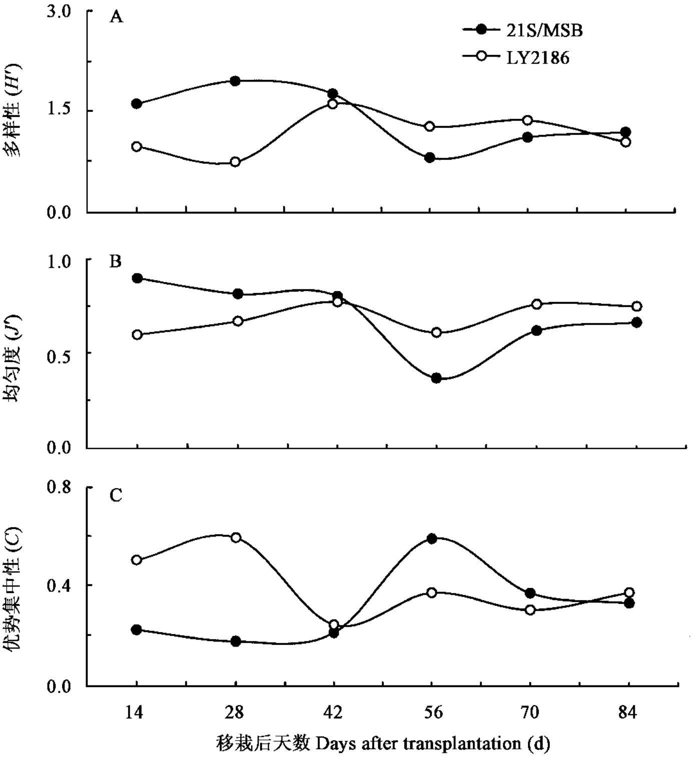

图2 转基因杂交稻21S/MSB稻田害虫多样性(A)、均匀度(B)与优势集中性(C)的时间动态(湘潭,2003)

Fig. 2 Temporal dynamics of diversity (A), evenness (B) and dominant concentration (C) of pest insects in paddy fields of transgenic hybrid rice 21S/MSB (Xiangtan, Hunan, 2003)

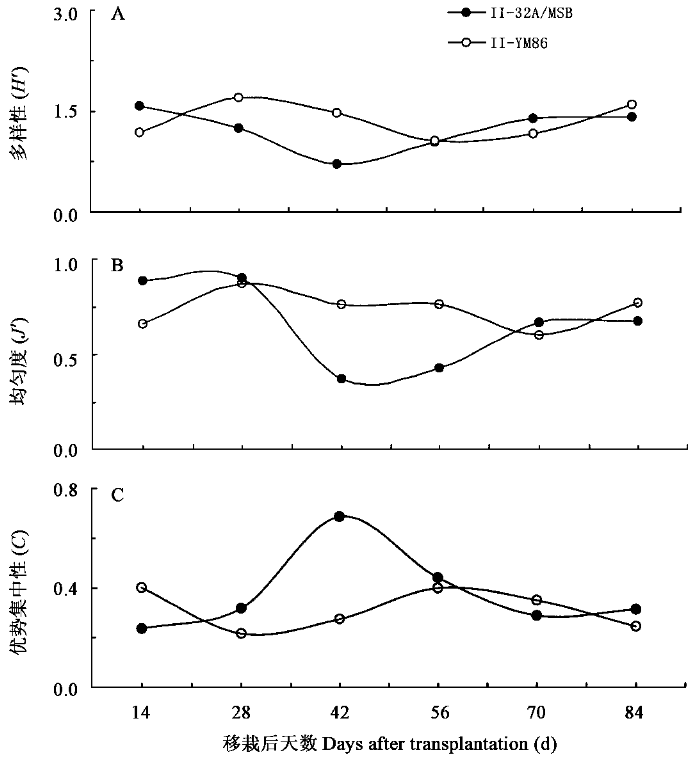

图3 转基因杂交稻Ⅱ-32A/MSB稻田害虫多样性(A)、均匀度(B)与优势集中性(C)时间动态(湖南湘潭,2003)

Fig. 3 Temporal dynamics of diversity (A), evenness (B) and dominant concentration (C) of pest insects in paddy fields of transgenic hybrid rice Ⅱ-32A/MSB (Xiangtan, Hunan, 2003)

2.3　转基因水稻田害虫物种组成与优势种分析

2002 年在试验 1 与试验 2 的 MSA、MSB 和 MH86 稻田中分别采集到水稻害虫 17 种、15 种、15 种，在试验 2 的 21S/MSB 与 LY2186 稻田中分别采集到水稻害虫 9 种、7 种，在试验 3 的 Ⅱ-32A/MSB 与 Ⅱ-YM86 稻田中分别采集到水稻害虫 9 种、7 种。与各自对照稻田比较，转基因稻 MSA、MSB 及其杂交稻后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 均略提高稻田中害虫的物种丰富度，MSB 对害虫的物种丰富度没有明显影响（表 6）。但 2003 年湘潭的试验，水稻害虫物种丰富度明显低于 2002 年沙县的试验，除了地理环境、年份和气候等因素外，可能与湘潭的试验地长期大量使用化学农药，使害虫优势种更加明显而物种丰富度降低有重要关系。

从群落相似性分析，转基因稻 MSA、MSB 及转基因杂交稻后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 稻田中水稻害虫与各自对照稻田比较，其相似性系数均高达 0.75～0.86。这说明转基因稻 MSA、MSB 及转基因杂交稻后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 稻田生境中水稻害虫的物种组成与其对照水稻田的水稻害虫的物种组成是非常相似的。从物种优势度大小分析，MSA、MSB 与其对照 MH86 稻田中的主要害虫的组成与顺序是完全相同的，都是稻飞虱、叶蝉与稻管蓟马 *Haplothrips aculeatus*；21S/MSB 与其对照 LY2186 和 Ⅱ-32A/MSB 与其对照 Ⅱ-YM86 稻田中主要害虫的组成与顺序也完全相同，它们都是稻飞虱、卷叶螟与稻蓟马 *Thrips oryzae*（表 6）。

表 6　转基因水稻田害虫的种类、优势度（*D*）和群落相似性（C_S）

Table 6　Species, dominant degree (*D*) and similarity coefficient (C_S) of pest insects in paddy fields of transgenic rice

类群 Species or groups	*D*（试验 1 & 2，沙县，2002） *D*（Test 1 & 2，Shaxian，2002）			*D*（试验 3，湘潭，2003） *D*（Test 3，Xiangtan，2003）		*D*（试验 4，湘潭，2003） *D*（Test 4，Xiangtan，2003）	
	MSA	MSB	MH86	21S/MSB	LY2186	Ⅱ-32A/MSB	Ⅱ-YM86
白背飞虱 *Sogatella furcifera*	10.75(2)	10.39 (2)	11.71 (2)	11.69(2)	15.98(2)	21.71(1)	17.57(2)
褐飞虱 *Nilaparvata lugens*	23.34(1)	30.23(1)	21.76(1)	21.58(1)	22.23(1)	17.42(2)	29.32(1)
飞虱若虫 Nymphs of planthopper	42.38(－)	34.54(－)	43.32(－)	58.89(－)	45.17(－)	52.65(－)	33.62(－)
黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps*	6.02 (3)	4.99 (3)	4.20 (3)	0.44(6)	0.32(7)	0.61(7)	0.56(5)
电光叶蝉 *Inazuma dorsalis*	3.56(5)	2.91(6)	2.63(5)	0	0.79(5)	1.26(5)	0
黑唇斑叶蝉 *Erythroneura maculifrons*	3.07(6)	2.86(7)	2.57(6)	0.06(8)	0	0	0
白翅叶蝉 *Thaia rubiginosa*	0	0.20(11)	0	0	0	0	0
叶蝉若虫 Leafhopper nymphs	7.39(－)	3.67(－)	4.60(－)	0.31(－)	0.40(－)	0.20(－)	0.71(－)
稻管蓟马 *Haplothrips aculeatus*	3.97(4)	3.47(4)	3.41(4)	0	0	0	0
稻蓟马 *Thrips oryzae*	0.82(8)	1.88(8)	1.92(7)	1.43(4)	1.66(4)	1.26(4)	1.52(4)
稻蝗 *Oxya* sp.	0.06(13)	0	0.05 (13)	0	0	0	0
负蝗 *Atractomorpha* sp.	0	0.06 (13)	0	0	0	0.15(8)	00
菱蝗 Tetrigidae	0.09(12)	0.08(12)	0	0	0	0	0
稻绿蝽 *Nezara viridula*	0.67(9)	0	0.05 (14)	0	0	0	0
二星蝽 *Stollia guttiger*	0.20(11)	0.36(10)	0.14(11)	0.06(9)	0	0.10(9)	0.40(6)
稻针缘蝽 *Cletus punctiger*	0.06(14)	0.06(14)	0.05(15)	0	0	0	0
稻蛛缘蝽 *Leptocorisa varicornis*	0.06(15)	0	0	0	0	0	0
长蝽 Lygaeidae	0.06(16)	0	0	0	0	0	0
蝽若虫 Pentatomidae nymphs	0.41(－)	0.64(－)	0	0.12(－)	0	0	0
叶甲 Chrysomelidae	0	0	0	0.75(5)	0.71(6)	0.66(6)	0.30(7)
卷叶螟幼虫 *Cnaphalocrocis medinalis* larvae	0.41(10)	0.42 (9)	0.89 (10)	1.93(3)	11.31(3)	2.22(3)	12.76(3)
稻弄蝶 1 *Parnara* sp. 1	0	0.06 (15)	0.14 (12)	0	0	0	0
稻弄蝶 2 *Parnara* sp. 2	0.06(17)	0	0	0.19(7)	0	0	0
稻杆蝇 *Chlorops oryzae*	0	0	1.27(8)	0	0	0	0
稻瘿蚊 *Pachydiplosis oryzae*	2.25(7)	3.14 (5)	1.08 (9)	0	0	0	0
相似性系数 C_S	MSA-MH86		0.81	21S/MSB-LY2186		0.75	
	MSB-MH86		0.80	Ⅱ-32A/MSB-Ⅱ-YM86		0.86	
主要物种（$D > 1$）相似性系数	MSA-MH86		0.87	21S/MSB-LY2186		1.00	
C_S of important species ($D > 1$)	MSB-MH86		0.94	Ⅱ-32A/MSB-Ⅱ-YM86		0.89	

括号内数字表示优势度顺序。（－）表示幼虫或若虫不参加物种优势度排序。

The numeral in parentheses indicates the order of dominant degree. (－) means nymphs or larvae not in the order of dominant degree of species or groups.

3 讨论

稻田节肢动物的种类和数量非常丰富，且尚有许多未知的种类。为了便于研究探讨群落的结构与多样性的变化动态，使复杂的网络结构简单化，研究者常按照营养关系把整个节肢动物划分为植食类、寄生类、捕食类、腐生类和其他类等 5 个功能团或亚群落（刘志诚等，2003）或将后 2 类合称中性昆虫类（刘雨芳，2000）。本文仅以为害水稻的植食性昆虫——水稻害虫为研究对象，比较研究转基因抗虫水稻及其杂交后代稻田中水稻害虫与其对照稻稻田中水稻害虫的差异性，进而评价转基因抗虫水稻及其杂交后代对水稻害虫的影响。

试验结果显示，在完全自然的生产条件下，转 *Cry*1*Ac* 与 *SCK* 双价基因抗虫水稻 MSA 与 MSB 对其主要的靶标害虫稻纵卷叶螟具有非常强的抗性，而以此为亲本组配的杂交稻 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 同样获得了对其主要靶标害虫稻纵卷叶螟的高抗性。这与其他研究者完成的转 Bt 基因水稻获得的高抗螟虫的试验结果是一致的（卫剑文等，2000；叶恭银和胡萃，2000；Khanna and Raina，2002）。

虽然从群落参数的时间动态分析，转基因水稻 MSA、MSB 及其杂交后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 对水稻害虫的物种丰富度、个体数量、多样性与均匀度都有一定程度的影响，且影响的时间与强度稍有差异，但生长全期的试验结果显示，与其对照水稻比较，转基因抗虫水稻 MSA 与 MSB 及其杂交后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 对水稻害虫群落的物种丰富度、个体数量、多样性、均匀度与优势集中性均无显著影响，且其水稻害虫的物种组成、主要害虫的物种组成具有较高的相似性。在研究中，虽然转基因水稻 MSA、MSB 及其杂交后代 21S/MSB 与 Ⅱ-32A/MSB 极显著地抑制了主要的靶标害虫稻纵卷叶螟的种群数量，由于稻纵卷叶螟的种群数量较低，在群落中占的优势度很小，而优势害虫稻飞虱在群落中的优势度占到 75% ~ 92%，且整个生育期内稻飞虱密度与对照水稻无明显差异（刘雨芳，2004）。靶标害虫种群数量的降低，并未在群落水平上对水稻害虫的组成与结构产生明显的影响，也没有引起优势种组成的变化。这与转 *Cry*1*Ab*/*Cry*1*Ac* 基因籼稻没有改变稻田植食性节肢动物功能团的结果是一致的（刘志诚等，2003）。同时由于是转双基因水稻，害虫不易对其产生抗性，可以预测，转 *Cry*1*Ac* + *SCK* 双价基因抗虫水稻及其杂交后代具有良好的应用前景。

在本研究中，受人力及害虫发生时间的影响，对靶标害虫的剥查未能与吸虫器法同步进行，因而在进行物种组成与优势度分析（表 6）时仅利用了吸虫器法所获得的数据与资料，未能反映钻蛀性害虫（主要是二化螟 *Chilo surppressalis* 与三化螟 *Tryporyza incertulas*）的真实情况，卷叶螟与其他食叶螟虫也只反映了幼虫而不能反映成虫的情况。在剥查实验中，由于钻蛀性螟虫的数量非常低，田间枯心苗主要由病害引起，本文未对其进行单独分析。因此，转基因水稻对水稻害虫的影响评价尚需进一步的研究，若用吸虫器法，结合剥查法（主要针对钻蛀性害虫）与扫网法（主要针对鳞翅目成虫和其他飞翔能力较强的成虫）进行同步采样，研究结果更能反映田间的实际情况。

参 考 文 献（References）

Bernal CC，Aguda RM，Cohen MB，2002. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomol*. *Exp*. *Appl*.，102(1)：21 – 28.

Cohen MB，Gould F，Bentur JS，2000. Bt rice：practical steps to sustainable use. *Int*. *Rice Res*. *Notes*，25(2)：4 – 10.

Ding YQ，1994. Insect Mathematic Ecology. Bejing：Science Press. 431 – 457.［丁岩钦，1994. 昆虫数学生态学. 北京：科学出版社. 431 – 457］

Dirie AM，Cohen MB，Gould F，2000. Larval dispersal and survival of *Scirpophaga incertulas* (Lepidoptera：Pyralidae) and *Chilo suppressalis* (Lepidoptera：Crambidae) on *cry*1*Ab*-transformed and non-transgenic rice. *Environ*. *Entomol*.，29(5)：972 – 978.

Fu Q，Wang F，Li DH，Yao Q，Lai FX，Zhang ZT，2003. Effects of insect-resistant transgenic rice lines MSA and MSB on non-target pests *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. *Acta Entomologica Sinica*，46(6)：697 – 704.［傅强，王锋，李冬虎，姚青，赖凤香，张志涛，2003. 转基因抗虫水稻 MSA 与 MSB 对非靶标害虫褐飞虱和白背飞虱的影响. 昆虫学报，46(6)：697 – 704］

Gatehouse AMR，Christon P，Gatehouse JA，2000. Improves strategies for aphid resistant transgenic crops. In：Abstracts of the British Crop Protection Council Conference-Pests and Diseases，13 – 16 November，2000，Brighton，UK. 2：593 – 598.

Khanna HK，Raina SK，2002. Elite indica transgenic rice plants expressing modified Cry1Ac endotoxin of *Bacillus thuringiensis* show enhanced resistance to yellow stem borer (*Scirpophaga incertulas*). *Transgenic Research*，11(4)：411 – 423.

Liu YF，Zhang GR，Gu DX，1999. Investigating the arthropods community in paddy fields using an improvement suction sampling machine. *Plant Protection*，25(6)：39 – 40.［刘雨芳，张古忍，古德祥，1999. 利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. 植物保护，25(6)：39 – 40］

Liu YF，2004. Effects of transgenic rice plants on arthropod community in paddy fields and assessment of ecological safety. Research Report of Postdoctor，Fujian Agriculture and Forestry University. 1 – 123.［刘雨芳，2004. 转基因抗虫水稻对稻田节肢动物群落的影响与生态安全评价. 博士后工作报告，福建农林大学博士后工作站. 1 – 123］

Liu YF，2000. Studies on the Community Structure of Arthropod in Rice Ecosystem. Dissertation for PhD，Zhongshan University. 1 – 188.［刘雨芳，2000. 稻田生态系统节肢动物群落结构研究. 博士学位论文，中山大学. 1 – 188］

Liu ZC，Ye GY，Hu C，Datta SK，2003. Impact of transgenic indica rice with a fused gene of *Cry*Ⅰ*Ab*/*Cry*Ⅰ*Ac* on the rice paddy arthropod community. *Acta Entomologica Sinica*，46（4）：454 – 465.［刘志诚，叶恭银，胡萃，Datta SK，2003. 转 *Cry*Ⅰ*Ab*/*Cry*Ⅰ*Ac* 基因籼稻对稻田节肢动物群落影响. 昆虫学报，46（4）：454 – 465］

Meng FX，Wu KM，Gao XW，Peng YF，Guo YY，2003. Geographic variation in susceptibility of *Chilo suppressalis*（Lepidoptera：Pyralidae）to *Bacillus thuringiensis* toxins in China. *J. Econ. Entomol.*，96（6）：1 838 – 1 842.

Schoenly KG，Cohen MB，Barrion AT，Zhang WJ，Gaolach B，Viajante VD，2003. Effects of *Bacillus thuringiensis* on non-target herbivore and natural enemy assemblages in tropical irrigated rice. *Environ. Biosafety Res.*，2（3）：181 – 206.

Shelton AM，Zhao JZ，Roush RT，2002. Economic，ecological，food safety，and social consequences of the deployment of *Bt* transgenic plants. *Annu. Rev. Entomol.*，47：845 – 881.

Wang ZH，Shu QY，Cui HR，Ye GY，Wu DX，Gao MW，Xia YW，Cheng XY，Altosaar I，2000. Resistance of progenies from cross between Bt transgenic rice and conventional rice varieties to stripe stem borer *Chilo suppressalis*. *Acta Agron. Sin.*，26（3）：310 – 314.［王忠华，舒庆尧，崔海瑞，叶恭银，吴殿星，高明尉，夏英武，成雄鹰，Altosaar I，2000. Bt 转基因水稻'克螟稻'杂交后代二化螟抗性研究初报. 作物学报，26（3）：310 – 314］

Wei JW，Xu XP，Chen JT，2000. Research on improving rice resistance to the pest by *B. t.* and *SBTi* genes. *Chin. J. Biotech.*，16（5）：603 – 608.［卫剑文，许新萍，陈金婷，2000. 应用 *B. t.* 和 *SBTi* 基因提高水稻抗虫性的研究. 生物工程学报，16（5）：603 – 608］

Wu WX，Ye QF，Min H，Duan XJ，Jin WM，2004. Bt-transgenic rice straw affects the culturable microbiota and dehydrogenase and phosphatase activities in a flooded paddy soil. *Soil Biochem.*，36：289 – 295.

Yang QW，2003. Potential biological safety problems and countermeasures in developing transgenic rice in China. *J. Plant Genetic Resources*，4（3）：261 – 264.［杨庆文，2003. 转基因水稻的生物安全性问题及其对策. 植物遗传资源学报，4（3）：261 – 264］

Ye GY，Hu C，2000. The application of detached-leaf bioassay for evaluating the resistance of *Bt* transgenic rice to stem borers. *Acta Phytophylacica Sinica*，27（1）：1 – 6.［叶恭银，胡萃，2000. 转苏云金杆菌毒蛋白基因水稻抗螟性的离体叶片测定法. 植物保护学报，27（1）：1 – 6］

Ye GY，Shu QY，Yao HW，Cui HR，Cheng XY，Hu C，Xia YW，Gao MW，Altosaar I，2001. Field evaluation of resistance of transgenic rice containing a synthetic *cry1Ab* gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to two stem borers. *J. Econ. Entomol.*，94（1）：271 – 276.

Zhu Z，2001. Research and development of highly insect-resistant transgenic rice. *Journal of Chinese Academy of Sciences*，16：353 – 358.［朱祯，2001. 高抗虫转基因水稻的研究与发展. 中国科学院院刊，16：353 – 358］

（责任编辑　袁德成）